บทที่ 3 ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

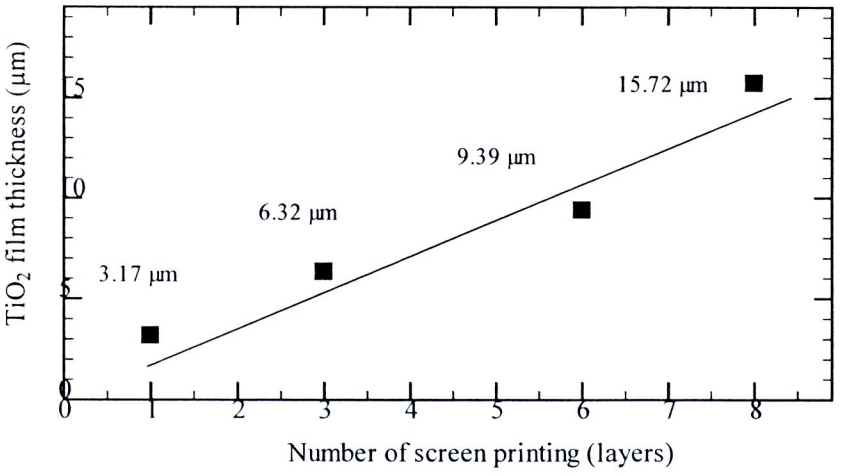
ผลการทดลองของกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยเทคนิคการพิมพ์สกรีน ถูกแบ่งออกเป็น 4 ผลการทดลอง แต่ละผลการทดลองได้ศึกษาตัวแปรที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยการทดลองที่ 1 และ 2 ได้ศึกษาความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากแหล่งผลิตต่างกัน การทดลองที่ 3 และ 4 ได้ศึกษาความเข้มข้นของสีย้อมไวแสงและอุณหภูมิของการอบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

3.1 การศึกษาผลกระทบความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล จาก NECTEC

เนื่องจากความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นการทดลองนี้จึงได้ศึกษาความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์โดยการพิมพ์สกรีนไทเทเนียมไดออกไซด์ (1-10) ชั้น และนำผลที่ได้ไปวัดวิเคราะห์ความหนาของฟิล์ม ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ และ พื้นผิวของฟิล์มบาง อย่างไรก็ตามในการทดลองที่ 1 ได้ใช้สารเคมีสำเร็จรูปพร้อมใช้งานจาก NECTEC

3.1.1 ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

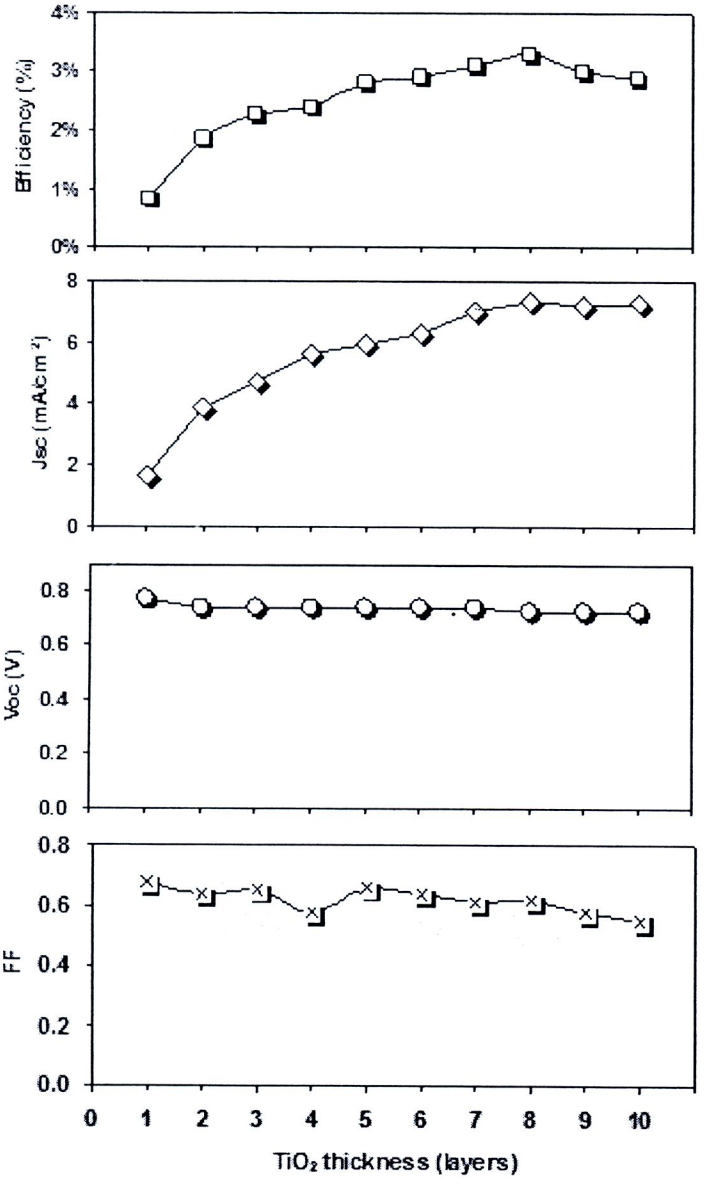
รูปที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากเทคนิคการพิมพ์สกรีนโดยใช้เครื่อง Step profile ในการวัดความหนาของฟิล์ม โดยนำตัวอย่างชิ้นงานที่สกรีนฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 1 ชั้น 3 ชั้น 6 ชั้น และ 8 ชั้นไปวัดความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งผลที่ได้คือ 3.17 μm, 6.32 μm, 9.39 μm และ 15.72 μm ตามลำดับ ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์มีความสัมพันธ์ค่อนข้างเป็นเชิงเส้นกับจำนวนการพิมพ์สกรีนฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อจำนวนครั้งการพิมพ์สกรีนเพิ่มมากขึ้น ความหนาของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ [1]



รูปที่ 3.1 *ความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2 sol-gel จาก NECTEC)*

3.1.2 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 3.2 (ก) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และความหนาของไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพก็จะเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ นอกจากนี้แล้ว ยังพบว่าประสิทธิภาพ (Eff) สูงสุดที่ได้คือ 3.28% ที่ความหนาของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 8 ชั้น (ตารางที่ 3.1) อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพจะเริ่มลดลงในชั้นที่ 9 และ 10 ตามลำดับ จากรูปที่ 3.2 (ข) กระแสลัดวงจรเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ อันเนื่องมาจากมีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ดังนั้นจึงทำให้โมเลกุลของสีย้อมไวแสงไปยึดเกาะกับอนุภาคของนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ได้เพิ่มมากขึ้น [2] การดูดกลืนแสงของโมเลกุลสีย้อมไวแสงจึงมากขึ้นก็สามารถเกิดอิเล็กตรอนได้เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ จากตารางที่ 3.1 กระแสลัดวงจร (Jsc) ที่ทำได้สูงที่สุดคือ 7.31 mA/cm^2 ที่ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ 8 ชั้น และลดลงในชั้นที่ 9 และ 10 เพราะว่าเกิดการรวมตัว (recombination) อิเล็กตรอน (e^-) กับโฮล (h^+) ในฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ [2] เมื่อความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้นระยะเวลาในการเดินทางของอิเล็กตรอนจากอนุภาคนาโนของไทเทเนียมไดออกไซด์มายังกระจกขั้วนำไฟฟ้าโปร่งแสงก็จะมากขึ้นด้วย ดังนั้นโอกาสที่อิเล็กตรอนจะรวมตัวกับโฮลก็จะมีปริมาณที่มากขึ้นตามลำดับ ส่งผลให้อิเล็กตรอนเดินทางมายังกระจกขั้วนำไฟฟ้าโปร่งแสงมีปริมาณลดลง ทำให้กระแสลัดวงจรและประสิทธิภาพของเซลล์ลดลงด้วยเช่นกัน จากรูปที่ 3.2 (ค) แรงดันวงจรเปิดมีการเปลี่ยนของระดับแรงดันค่อนข้างลดลงเมื่อจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้น่าจะเกิดจากความต้านทานของฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์หนามากขึ้น



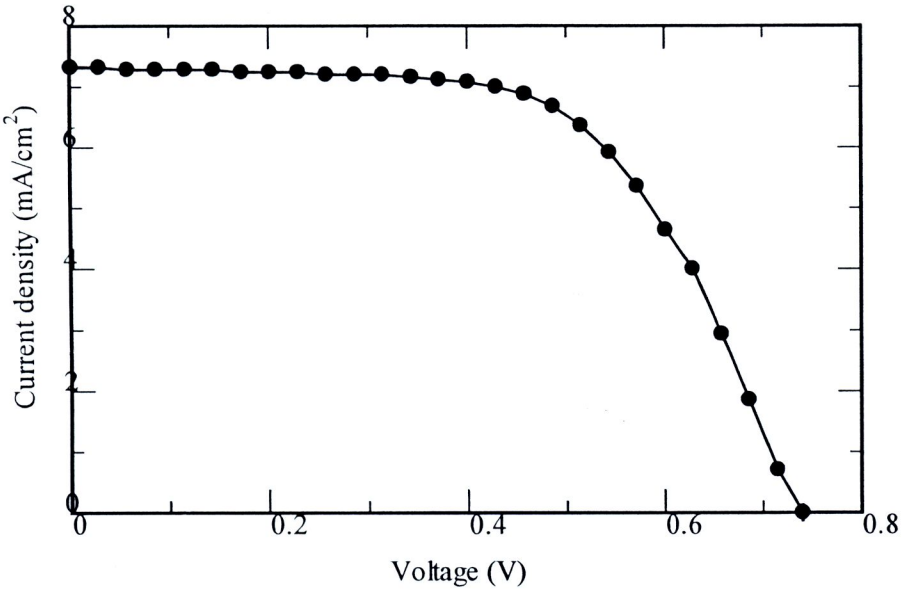
รูปที่ 3.2 *ผลการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (TiO_2 sol-gel จาก NECTEC) (ก) ประสิทธิภาพ (Efficiency) (ข) กระแสลัดวงจร (Jsc) (ค) แรงดันวงจรเปิด (Voc) และ (ง) ฟิลล์แฟกเตอร์ (FF)*

นอกจากนี้ ค่าฟิลล์แฟกเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างลดลงเช่นกันเมื่อจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 3.2 (ง)) ทั้งนี้เกิดจากความต้านทานของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่หนามากขึ้น ซึ่งผลของพารามิเตอร์ต่างๆจากการทดลองที่ผ่านมามีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์ไปแล้วก่อนหน้านี้ [1-3]

จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพ (Eff) สูงสุดของเซลล์ที่ได้เท่ากับ 3.28% กระแสลัดวงจร (Jsc) เท่ากับ 7.31 mA/cm^2 แรงดันวงจรเปิด (Voc) เท่ากับ 0.73V และค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) เท่ากับ 0.61 บนพื้นที่เซลล์ 0.25 cm^2 ที่ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ 15.72 μm (รูปที่ 3.3)

ตารางที่ 3.1 *เปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ (TiO_2 sol-gel; NECTEC)*

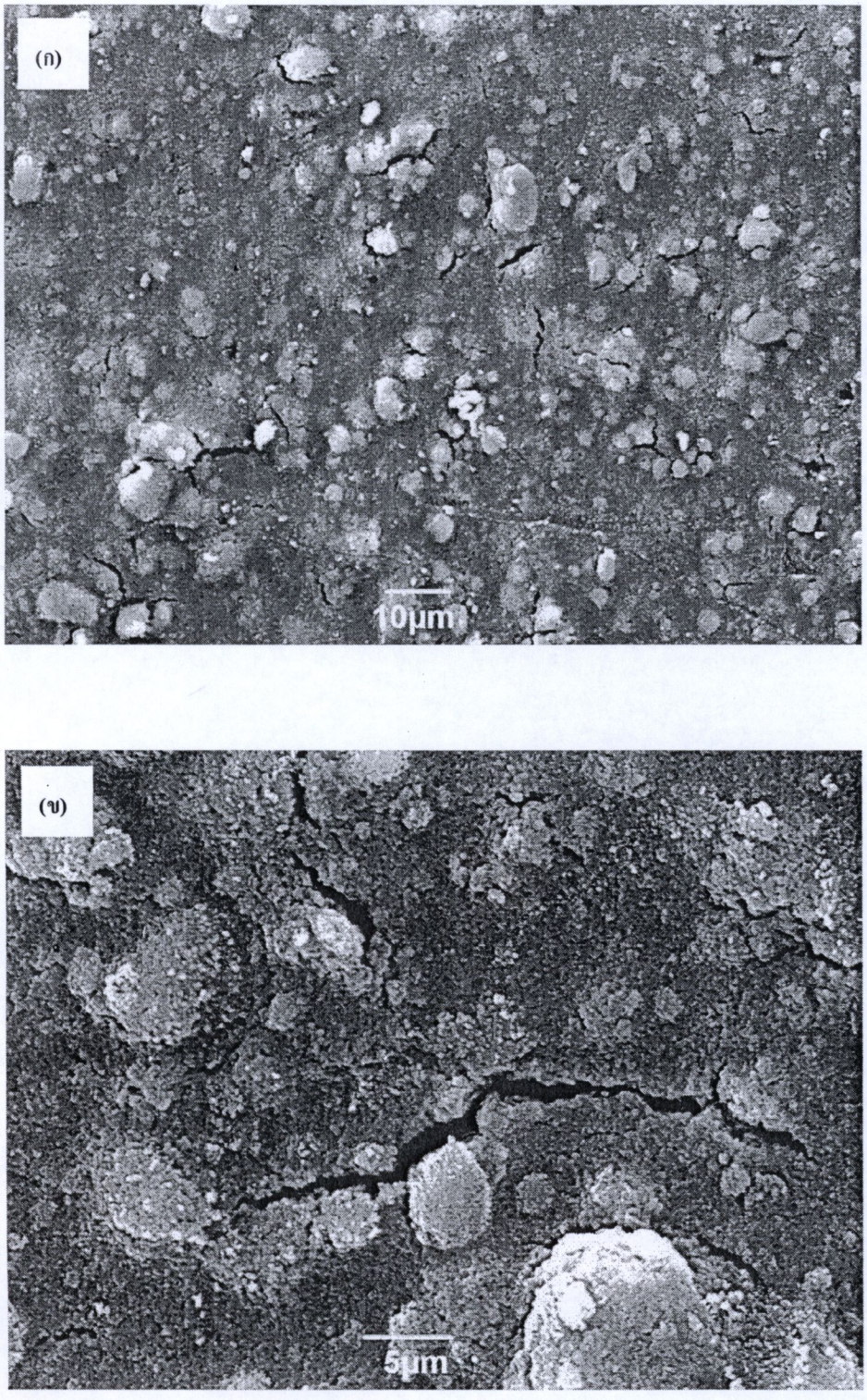
TiO_2 thickness (layers)	Voc (V)	FF	Jsc (mA/cm^2)	Eff (%)
1	0.77	0.67	1.62	0.85
2	0.74	0.63	3.89	1.84
3	0.74	0.65	4.75	2.26
4	0.74	0.57	5.61	2.41
5	0.74	0.65	5.94	2.82
6	0.74	0.64	6.29	2.91
7	0.74	0.61	7.01	3.11
8	0.73	0.61	7.31	3.28
9	0.72	0.57	7.23	3.01
10	0.72	0.55	7.25	2.89



รูปที่ 3.3 *คุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (TiO_2 sol-gel จาก NECTEC)*

3.1.3 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

เมื่อนำฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากเทคนิคการพิมพ์สกรีน อบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 นาที และเผาต่อที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 30 นาที บนฐานรองกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสงมาศึกษาสภาพพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยภาพถ่ายจาก SEM จากรูปที่ 3.4 ทั้ง (ก) และ (ข) พบว่า พื้นผิวของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ของ NECTEC **พบว่ามีรอยแตกร้าวของฟิล์มเกิดขึ้น ซึ่งเกิดจากสัมประสิทธิ์**การขยายตัวของกระจกขั้วนำไฟฟ้าโปร่งแสงกับฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ไม่เท่ากันเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิสูง ปัญหาดังกล่าวทำให้การเกาะเกี่ยวกันของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ขาดความต่อเนื่อง ดังนั้นจึงส่งผลต่อการเดินทางของอิเล็กตรอนจากไทเทเนียมไดออกไซด์ไปยังขั้วไฟฟ้าได้ยากขึ้น ทำให้ปริมาณกระแสลดลง นอกจากนี้แล้วยังเกิดการกระจุกตัวของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นก้อนๆ การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ปัญหาดังกล่าวนี้จะทำให้อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ดูดซับโมเลกุลของสีย้อมไวแสงได้น้อยลง ดังนั้นประสิทธิภาพ (Eff) เซลล์แสงอาทิตย์จึงค่อนข้างต่ำ



รูปที่ 3.4 *ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ความหนา 15.72 µm จาก NECTEC (ก) ที่อัตราการขยาย 1,000 เท่า (ข) ที่อัตราการขยาย 2,500 เท่า*

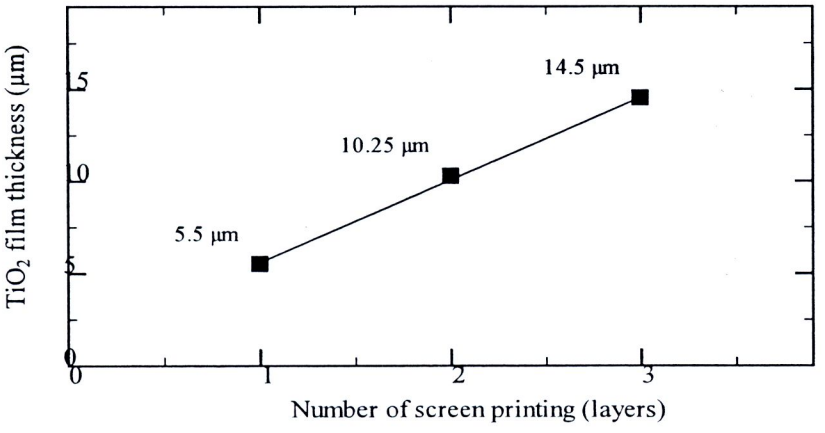
3.2 การศึกษาผลกระทบความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล จาก Solaronix

ในการทดลองที่ 2 มีความเหมือนกับการทดลองที่ 1 แต่ได้เปลี่ยนวัสดุในการทดลองจากไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล จาก NECTEC เปลี่ยนมาใช้จากบริษัท Solaronix ทั้งนี้เพื่อต้องการทราบความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ และพื้นผิวของฟิล์มบาง โดยความหนาของฟิล์มที่เหมาะสมคือ (1-3) ชั้น นอกจากนี้แล้วผู้วิจัยต้องการศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล ทั้งสองแหล่งที่มา

3.2.1 ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากเทคนิคการพิมพ์สกรีน โดยนำตัวอย่างชิ้นงานที่สกรีนฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 1ชั้น 2 ชั้น และ 3 ชั้นไปทำการวัดความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ผลที่ได้คือ 5.5 μm, 10.25 μm และ 14.5 μm ตามลำดับ ดังจะเห็นได้ว่าความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จากบริษัท Solaronix มีความสัมพันธ์ค่อนข้างเป็นเชิงเส้นกับจำนวนการพิมพ์สกรีนเช่นเดียวกับไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จาก NECTEC ซึ่งสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ [1]

อย่างไรก็ตามผลจากการวัดความหนาทำให้ทราบว่าการสกรีนแต่ละครั้งของไทเทเนียมไดออกไซด์ทั้ง 2 มีความหนาของฟิล์มที่ไม่เท่ากัน แสดงให้เห็นว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จาก NECTEC มีความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่ำจึงจำเป็นต้องสกรีนหลายครั้งถึงจะได้ความหนาที่ต้องการ ในขณะที่ไทเทเนียมไดออกไซด์จากบริษัท Solaronix มีความเข้มข้นสูงมากสกรีนไม่กี่ครั้งก็ได้ความหนาตามที่ต้องการ

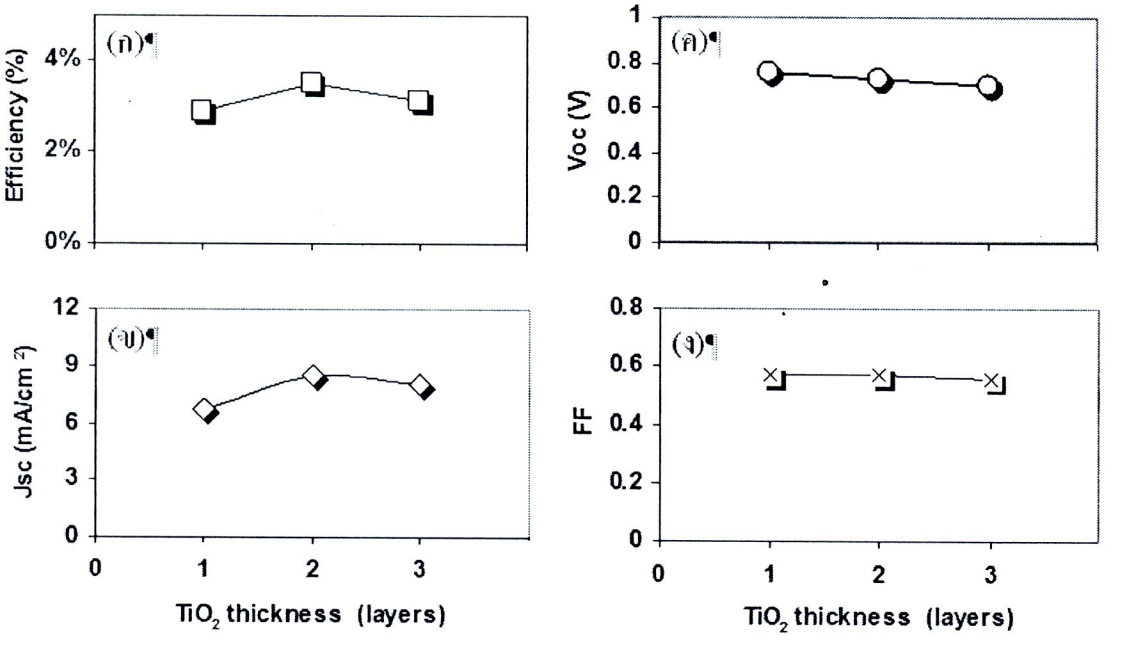


รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2 sol-gel จากบริษัท Solaronix)

3.2.2 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

จากความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และความหนาของไทเทเนียมไดออกไซด์ในรูปที่ 3.6 (ก) พบว่าประสิทธิภาพ (Eff) สูงสุดที่ได้คือ 3.52% ที่ความหนาของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 2 ชั้น (ตารางที่ 3.2) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพลดลงในชั้นที่ 3 จากรูปที่ 3.6 (ข) กระแสลัดวงจรเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ อันเนื่องมาจากมีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ดังนั้นจึงทำให้โมเลกุลของสีย้อมไวแสงไปยึดเกาะกับอนุภาคของนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ได้เพิ่มมากขึ้นก็สามารถเกิดอิเล็กตรอนได้เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 กระแสลัดวงจร (Jsc) ที่ทำได้สูงที่สุดคือ 8.53 mA/cm^2 ที่ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ 2 ชั้น และลดลงในชั้นที่ 3 เพราะว่าเกิดการรวมตัว (recombination) อิเล็กตรอน (e^-) กับโฮล (h^+) ในฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ จากรูปที่ 3.6 (ค) แรงดันวงจรเปิดมีการเปลี่ยนของระดับแรงดันค่อนข้างลดลง เมื่อจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้นทั้งนี้อาจเกิดจากความต้านทานของฟิล์มหนามากขึ้น จากรูปที่ 3.6 (ง) ค่าฟิลล์แฟกเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างลดลง ทั้งนี้อาจเกิดจากความต้านทานของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่หนามากขึ้น [1-3]



รูปที่ 3.6 *ผลการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (TiO_2 sol-gel จากบริษัท Solaronix) (ก) ประสิทธิภาพ (Efficiency) (ข) กระแสลัดวงจร (Jsc) (ค) แรงดันวงจรเปิด (Voc) และ (ง) ฟิลล์แฟกเตอร์ (FF)*

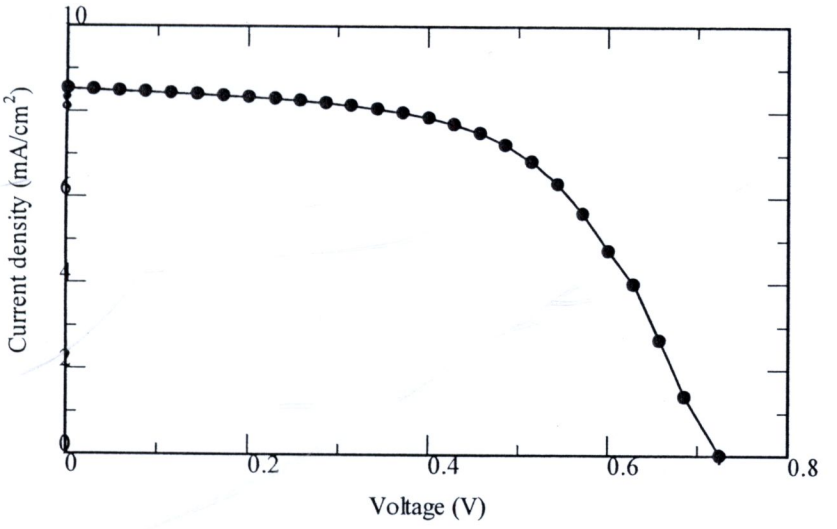
ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ (TiO_2 sol-gel; Solaronix)

TiO_2 thickness (layers)	Voc (V)	FF	Jsc (mA/cm^2)	Eff (%)
1	0.75	0.57	6.72	2.91
2	0.72	0.56	8.53	3.52
3	0.70	0.55	8.05	3.13

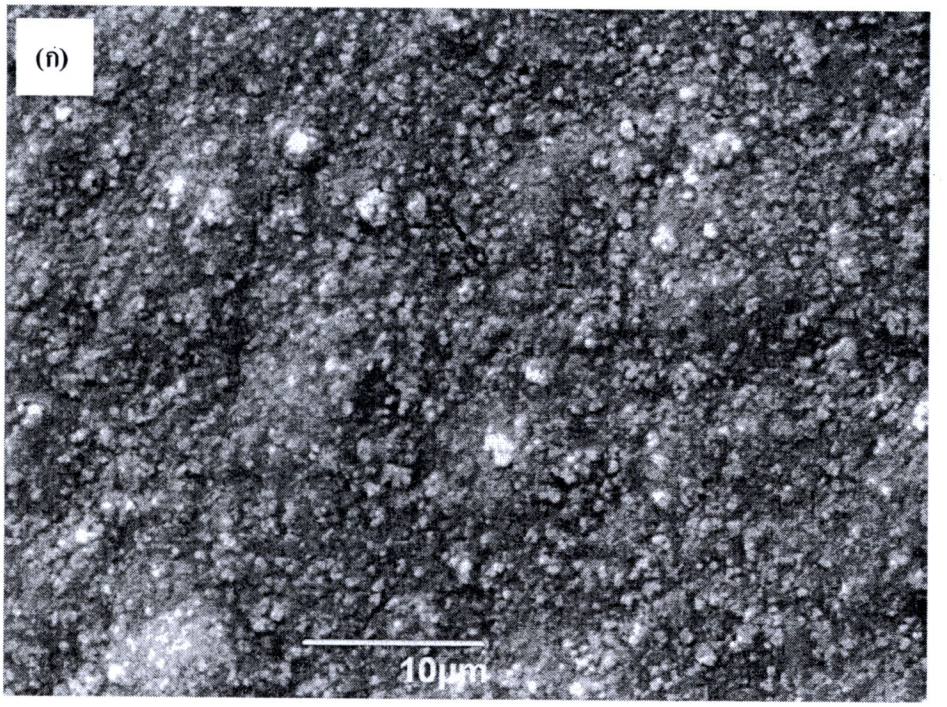
นอกจากนี้ จากรูปที่ 3.7 พบว่าประสิทธิภาพ (Eff) สูงสุดของเซลล์ที่ได้เท่ากับ 3.52% กระแสลัดวงจร (Jsc) เท่ากับ 8.53 mA/cm^2 แรงดันวงจรเปิด (Voc) เท่ากับ 0.72V และค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) เท่ากับ 0.61 บนพื้นที่เซลล์ 0.25 cm^2 ที่ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ 10.25 μm

3.2.3 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

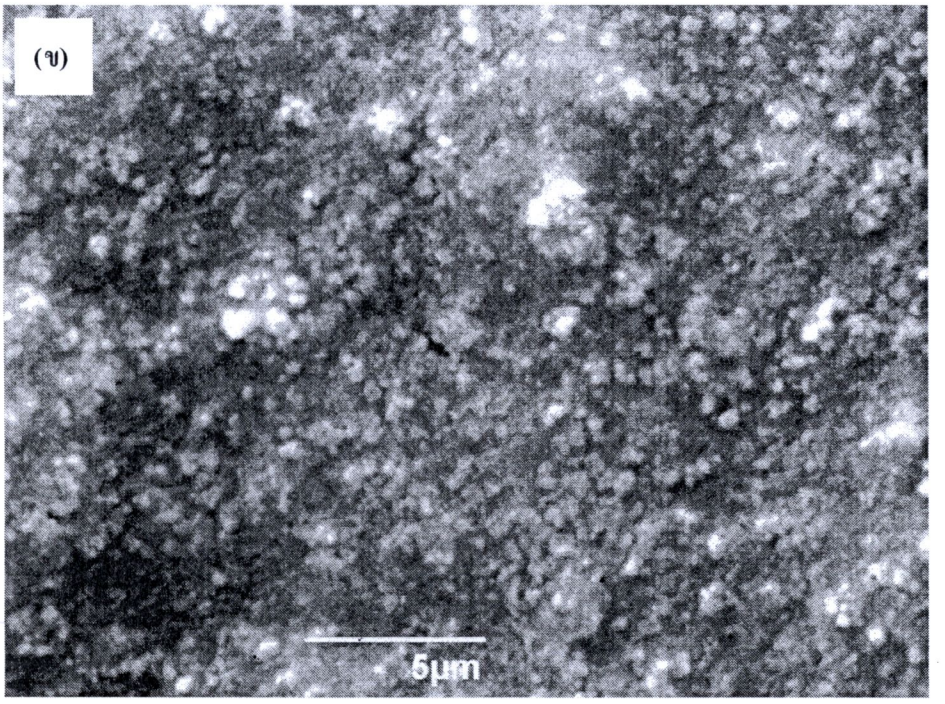
เมื่อนำฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากเทคนิคการพิมพ์สกรีน อบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 นาที และเผาต่อที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 30 นาที บนฐานรองกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสงมาศึกษาสภาพพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยภาพถ่ายจาก SEM จากรูปที่ 3.8 ทั้ง (ก) และ (ข) พบว่า พื้นผิวของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ของบริษัท Solaronix ยังมีทั้งรอยแตกร้าวของฟิล์ม และยังเกิดการกระจุกตัวของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นก้อนๆกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับผลการทดลองก่อนหน้านี้ พบว่าทั้งรอยแตกร้าวของฟิล์มและการกระจุกตัวของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีแนวน้อมลดลงอย่างเห็นได้ชัด นั้นหมายความว่าอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เกาะเกี่ยวกันอย่างต่อเนื่องไม่เกิดช่องว่างและสามารถที่จะดูดซับโมเลกุลของสีย้อมไวแสงได้เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้การเดินทางของอิเล็กตรอนในฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์มีความต่อเนื่องขึ้นประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จึงเพิ่มสูงขึ้นเป็น 3.52%



รูปที่ 3.7 คุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (TiO_2 sol-gel จาก Solaronix)



รูปที่ 3.8 (หน้าถัดไป)



รูปที่ 3.8 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ความหนา 10.25 µm จาก Solaronix (ก) ที่อัตราการขยาย 1,000 เท่า (ข) ที่อัตราการขยาย 2,500 เท่า

3.3 การศึกษาความเข้มข้นสีย้อมไวแสง (N719) ซึ่งผสมด้วยตัวทำละลาย เอทานอลที่ความเข้มข้นน้อย (1:5) และความเข้มข้นมาก (1:1) ที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

การทดลองที่ 3 ได้นำผลจากการทดลองก่อนหน้านี้มาใช้คือใช้ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ 2 ชั้น จากบริษัท Solaronix โดยการทดลองนี้ได้ศึกษาความเข้มข้น Dye ชนิด (N719) ซึ่งผสมด้วยตัวทำละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นน้อย (1:5) และความเข้มข้นมาก (1:1) เพื่อต้องการทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

3.3.1 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

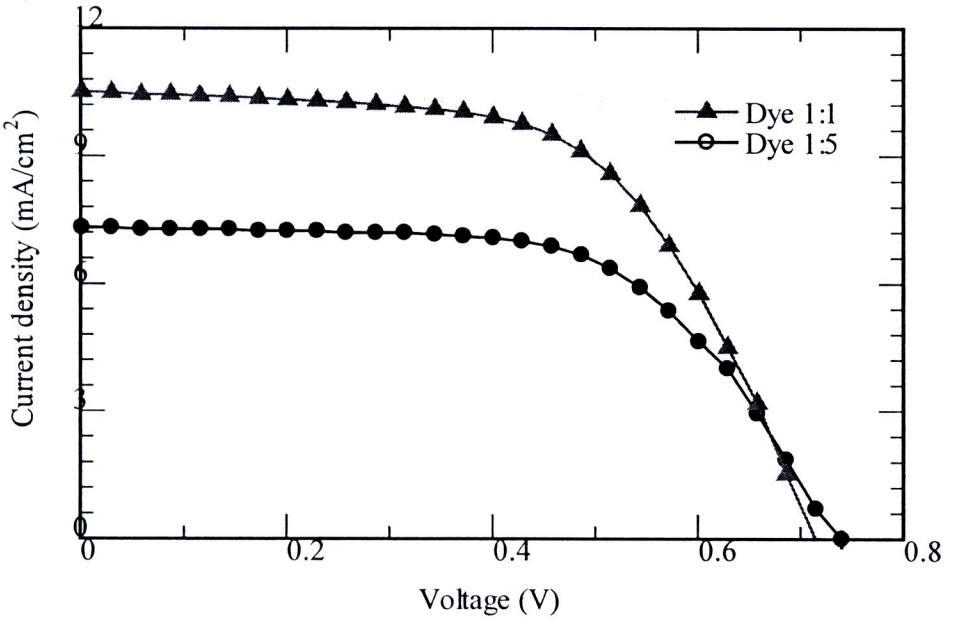
จากข้อมูลตารางที่ 3.3 เป็นความเข้มข้นของสีย้อมไวแสงต่อตัวทำละลายเอทานอลที่อัตราส่วน (1:1) และ (1:5) โดยที่ความเข้มข้นต่ำ (1:5) จะมีความหนาแน่นของสีย้อมไวแสงน้อยทำให้โอกาสที่โมเลกุลของสีย้อมไวแสงจะไปเกาะกับอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จึงน้อยลงไปด้วย ดังนั้นประสิทธิภาพที่ได้จึงไม่สูงมากนัก คือ 3.58% อย่างไรก็ตามเมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนความเข้มข้นเป็น (1:1) นั้นคือจะมีความหนาแน่นของสีย้อมไวแสงเพิ่มขึ้นทำให้โอกาสที่โมเลกุลของสีย้อมไวแสงจะไปเกาะกับ

อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จึงมากขึ้น ประสิทธิภาพที่ได้จึงเพิ่มสูงขึ้นเป็น 4.34%

จากรูปที่ 3.9 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มข้นสีย้อมไวแสงแตกต่างกัน พบว่าที่ความเข้มข้นสีย้อมไวแสง (1:1) มีประสิทธิภาพ (Eff) สูงสุดของเซลล์ที่ได้เท่ากับ 4.34 % กระแสลัดวงจร (Jsc) เท่ากับ 10.2 mA/cm^2 แรงดันวงจรเปิด (Voc) เท่ากับ 0.71 V และค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) เท่ากับ 0.60 บนพื้นที่เซลล์ 0.25 cm^2 ที่ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ 10.25 μm

ตารางที่ 3.3 *เปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ (Dye 1:1, 1:5)*

Dye concentration	TiO_2 thickness (layers)	Voc (V)	FF	Jsc (mA/cm^2)	Eff (%)
1:1	2	0.71	0.60	10.2	4.34
1:5	2	0.72	0.56	8.53	3.52



รูปที่ 3.9 *คุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความแตกต่างความเข้มข้นของโมเลกุลสีย้อมไวแสง*

3.4 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล เพื่อไล่ความชื้นออกจากฟิล์ม ลดรอยแตกร้าวจากการเผาที่อุณหภูมิสูง

เนื่องจากฟิล์มที่ได้หลังจากการพิมพ์สกรีนแต่ละครั้งนั้นจะมีความชื้นค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาอุณหภูมิของการอบแต่ละครั้งหลังการพิมพ์สกรีนก่อนที่จะนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงที่ 450°C เพื่อลดปัญหารอยแตกร้าวของฟิล์มที่จะเกิดขึ้นหลังจากการเผาโดยแบ่งเงื่อนไขการทดลองเป็น 2 เงื่อนไข

1.อบที่อุณหภูมิ 100°C หลังการพิมพ์สกรีนแต่ละครั้ง และหลังจากการพิมพ์สกรีนครั้งสุดท้ายแล้วอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง 450°C เป็นเวลา 30 นาที

2.อบที่อุณหภูมิ 100°C หลังการพิมพ์สกรีนแต่ละครั้ง และหลังจากการพิมพ์สกรีนครั้งสุดท้ายแล้วอบที่อุณหภูมิ 125°C เป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง 450°C เป็นเวลา 30 นาที

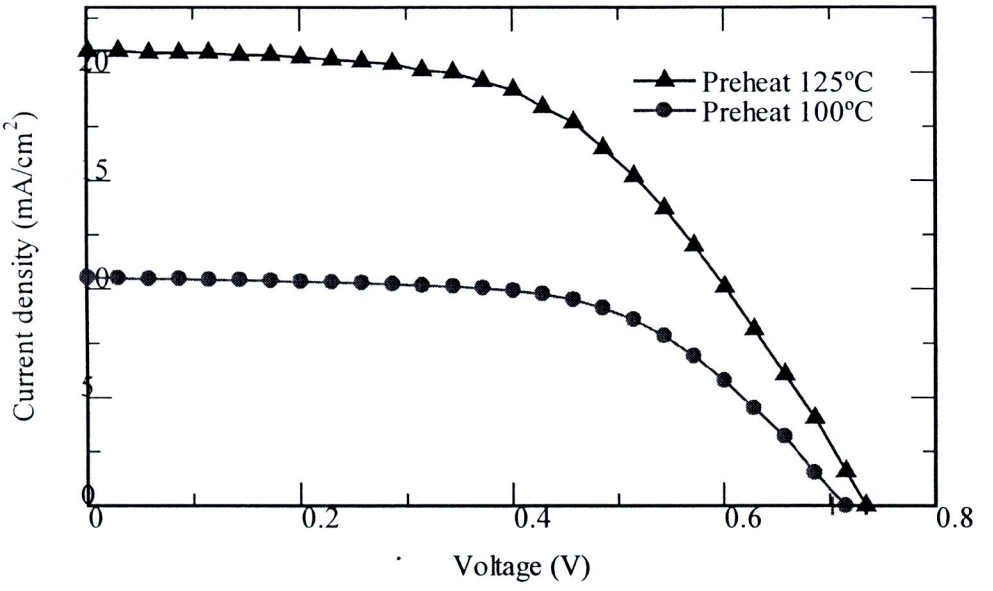
3.4.1 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

จากการศึกษาอุณหภูมิของการอบฟิล์ม ที่ 100°C และ 125°C (ตารางที่ 3.4) พบว่า ประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นอย่างเป็นนัยสำคัญจาก 4.34% เป็น 8.09% อย่างไรก็ตามทางผู้วิจัยยังไม่ทราบแน่ชัดว่าเกิดขึ้นจากสาเหตุใด ดังนั้นได้ตั้งสมมุติฐานของการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพว่าน่าจะเกิดจากการที่อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 125°C เป็นเวลา 30 นาทีนั้นเปรียบได้กับการ annealed ฟิล์มไทเทียมเนียมไดออกไซด์ นอกจากนี้แล้วผลจากการ annealed เข้าใจว่าเกิดการจัดเรียงตัวของอนุภาคนาโนไทเทียมไดออกไซด์ที่เป็นระเบียบและมีความต่อเนื่องเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเดินทางของอิเล็กตรอนบนอนุภาคนาโนไทเทียมไดออกไซด์จึงมีค่าสภาพคล่อง (mobility) เพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมาก จึงส่งผลให้กระแสลัดวงจร (Jsc) เพิ่มขึ้นจาก 10.2 mA/cm^2 เป็น 21 mA/cm^2

จากรูปที่ 3.10 ที่สภาวะของการอบฟิล์มไทเทียมเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 125°C พบการเพิ่มขึ้นของกระแสลัดวงจรได้ชัดเจน โดยพบว่า ประสิทธิภาพ (Eff) สูงสุดของเซลล์ที่ได้เท่ากับ 8.09 % กระแสลัดวงจร (Jsc) เท่ากับ 21 mA/cm^2 แรงดันวงจรเปิด (Voc) เท่ากับ 0.73 V และค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) เท่ากับ 0.52 บนพื้นที่เซลล์ 0.25 cm^2 ที่ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ 10.25 μm

ตารางที่ 3.4 *เปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ (Preheat 100°C, 125°C)*

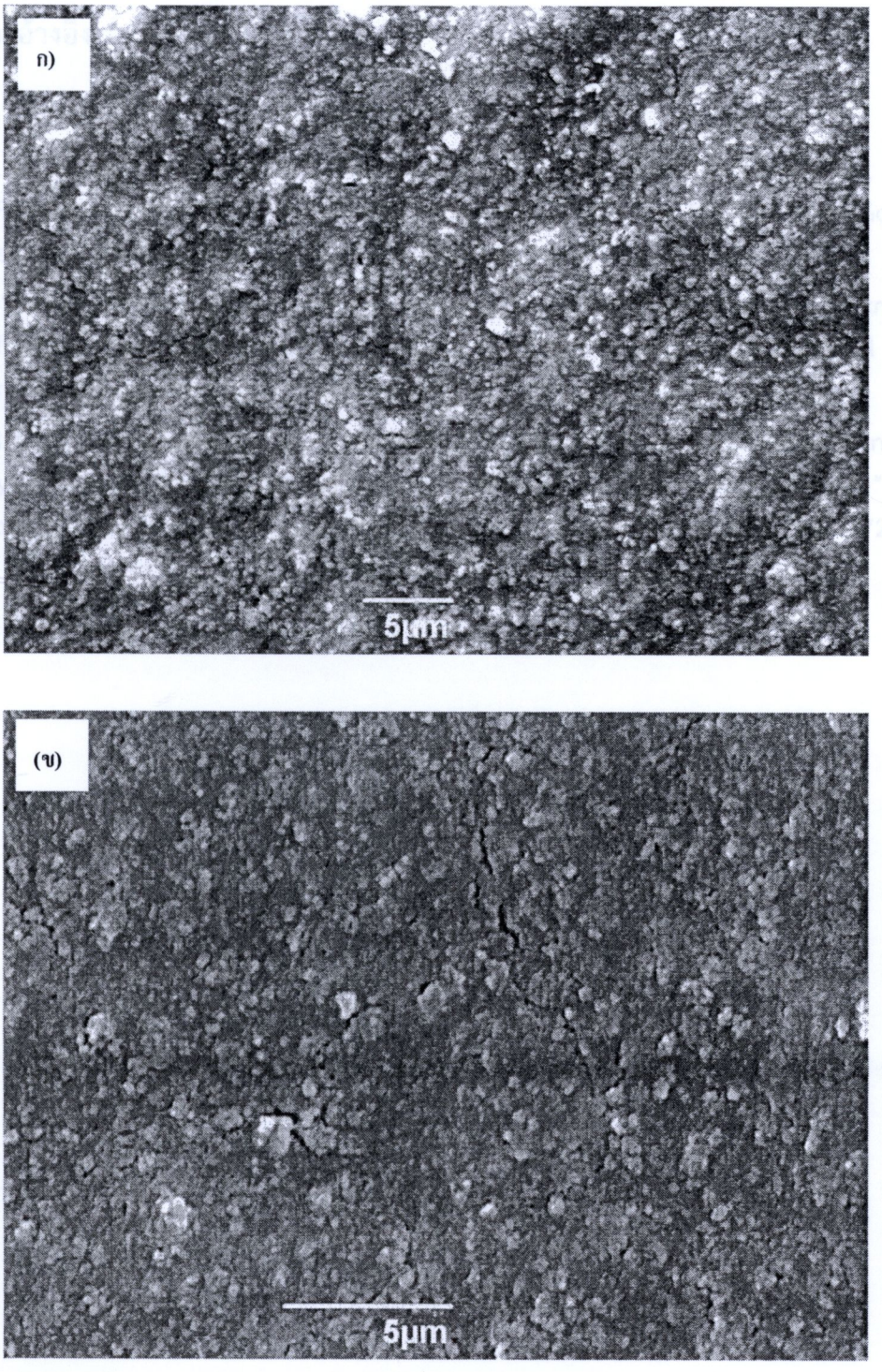
Preheat (°C)	TiO_2 thickness (layers)	Voc (V)	FF	Jsc (mA/cm^2)	Eff (%)
100	2	0.71	0.60	10.2	4.34
125	2	0.73	0.52	21.0	8.09



รูปที่ 3.10 คุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความต่างของอุณหภูมิในการอบ

3.4.2 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

เมื่อนำฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากเทคนิคการพิมพ์สกรีน อบที่อุณหภูมิ 100°C และ 125°C เป็นเวลา 30 นาที เผาต่อที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 30 นาที มาศึกษาสภาพพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยภาพถ่ายจาก SEM จากรูปที่ 3.11 เมื่อเปรียบเทียบทั้ง (ก) และ (ข) พบว่าพื้นผิวของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด การกระจุกตัวของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นก้อนๆ การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอลดลงอย่างมากเมื่อ annealed ที่อุณหภูมิ 125°C และนี้อาจเป็นเหตุผลหนึ่งที่สามารถยืนยันการเพิ่มขึ้นของกระแสลัดวงจรได้เป็นอย่างดี ถึงอย่างไรก็ตามฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ก็ยังคงมีร่องรอยของรอยแตกร้าวปรากฏให้เห็นอยู่



รูปที่ 3.11 *ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ความหนา 10.25 µm จาก Solaronix ที่อัตราการขยาย 5,000 เท่า (ก) อบที่อุณหภูมิ 100°C (ข) อบที่อุณหภูมิ 125°C*

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Ito, P. Chen, P. Comte, M. K. Nazeeruddin, P. Liska, P. Pechy and M. Gratzel "Fabrication of Screen-Printing Pastes From TiO_2 Powders for Dye-Sensitised Solar Cells." Prog. Photovolt: Res. Appl. **15** (2007), 603-612.

[2] I. Shin, H. Seo, M-K. Son, J-K. Kim, K. Prabakar, H-J. Kim, "Analysis of TiO_2 thickness effect on characteristic of a dye-sensitized solar cell by using electrochemical impedance spectroscopy", Current Applied Physics **10** (2010), S422–S424.

[3] M. Okuya, K. Nakade, D. Osa, T. Nakano,G.R. A. Kumara, S. Kaneko, "Fabrication of dye- sensitized solar cells by spray pyrolysis deposition (SPD) technique", Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry **164** (2004), 167–172